

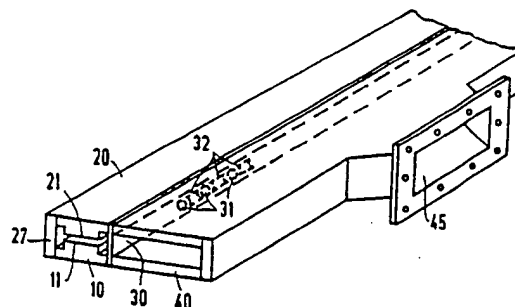
PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 5 : <div style="text-align: center; font-weight: bold;">H01S 3/0975</div>	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 90/13160 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 1. November 1990 (01.11.90)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP90/00563 (22) Internationales Anmeldedatum: 10. April 1990 (10.04.90) (30) Prioritätsdaten: P 39 12 568.8 17. April 1989 (17.04.89) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-8000 München 2 (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : KRÜGER, Wolfgang [DE/DE]; Schillerstraße 11, D-8520 Erlangen (DE). GROSSE-WILDE, Hubert [DE/DE]; Staffelbergstraße 4, D-8524 Neunkirchen (DE).	(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AG; Postfach 22 16 34, D-8000 München 22 (DE). (81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), DK (europäisches Patent), ES (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US. Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	

(54) Title: GAS LASER, IN PARTICULAR CO₂ LASER

(54) Bezeichnung: GAS-LASER, INSBESONDERE CO₂-LASER



(57) Abstract

Gas lasers in which the laser gas is excited by supplying high-frequency energy are known. The gas laser according to the invention possesses the following features: it is a strip conductor laser in which a plasma space (5) of limited height for the laser-active plasma is formed between two opposite surfaces (11, 21) of two wall parts (10, 20). The wall parts (10, 20) are components of a coupling chamber with at least one coupling wall (30) which is connected to at least one distributor chamber (40, 50). The gas plasma is activated over its whole length as desired by incoupling the high-frequency energy through the coupling wall (30). According to the invention, the high-frequency energy for exciting the plasma lies in the gigahertz range and can be generated, for example, by a magnetron.

(57) Zusammenfassung

Gas-Laser, bei denen das Lasergas durch Zufuhr von Hochfrequenz-Leistung angeregt wird, sind bekannt. Der erfindungsgemässe Gas-Laser ist mit folgenden Merkmalen ausgebildet: der Laser ist ein Bandleiter-Laser, bei welchem zwischen einander gegenüberstehenden Flächen (11, 21) zweier Wandteile (10, 20) ein Plasmaraum (5) geringer Höhe für das laseraktive Plasma gebildet ist; die Wandteile (10, 20) sind Bestandteile eines Ankoppelraumes mit wenigstens einer Ankoppelwand (30), die mit wenigstens einem Verteilerraum (40, 50) verbunden ist, wobei durch Einkopplung der HF-Leistung über die Koppelwand (30) das Gasplasma über seine gesamte Länge in gewünschter Weise aktiviert wird. Erfindungsgemäss liegt die HF-Leistung zur Anregung des Plasmas im Gigahertz-Bereich, wozu beispielsweise ein Magnetron verwendet werden kann.

BENENNUNGEN VON "DE"

Bis auf weiteres hat jede Benennung von "DE" in einer internationalen Anmeldung, deren internationaler Anmeldetag vor dem 3. Oktober 1990 liegt, Wirkung im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit Ausnahme des Gebietes der früheren DDR.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	ES	Spanien	MG	Madagaskar
AU	Australien	FI	Finnland	ML	Mali
BB	Barbados	FR	Frankreich	MR	Mauritanien
BE	Belgien	GA	Gabon	MW	Malawi
BF	Burkina Faso	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BJ	Benin	HU	Ungarn	RO	Rumänien
BR	Brasilien	IT	Italien	SD	Sudan
CA	Kanada	JP	Japan	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SN	Senegal
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SU	Sowjet Union
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	TD	Tschad
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	TG	Togo
DE	Deutschland, Bundesrepublik	LU	Luxemburg	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	MC	Monaco		

1 Gas-Laser, insbesondere CO₂-Laser

Die Erfindung bezieht sich auf einen Gas-Laser, insbesondere einen CO₂-Laser, bei dem das Lasergas durch Zufuhr von Hochfrequenz-Leistung angeregt wird. Dabei bezieht sich die Erfindung im einzelnen auf die Anregung eines Bandleiter-Lasers durch die spezifische Einkopplung der HF-Leistung.

Bei Gas-Lasern ist das laseraktive Medium ein Gas, das zu einem Plasma angeregt ist. Zur Aufrechterhaltung des Plasmazustandes muß ständig Leistung zugeführt werden, was üblicherweise über das Anlegen eines elektrischen Feldes erfolgt, das die freien Elektronen zu beschleunigen vermag. Das Feld kann prinzipiell ein Gleich- oder Wechselfeld sein, wobei sich insbesondere die Einkopplung von HF-Leistung anbietet. Die Hochfrequenz-Anregung hat den Vorteil, daß keine Verluste an einem Vorwiderstand bzw. keine Spannungsabfälle an der Kathode auftreten. Für die Verwendung bei Gaslasern ist die einfache Pulsbarkeit an den Generatoren vorteilhaft. Allerdings treten sogenannte HF-Grenzschichten im Plasma auf, die laserinaktiv sind. Außerdem wird ein vergleichsweise teurer Generator benötigt.

Die Frequenz der Anregungsleistung kann sich theoretisch bis in den Bereich der Radiofrequenzen bis über den Mikrowellenbereich hinaus bewegen. Bei hohen Frequenzen, beispielsweise im Bereich der für Mikrowellenanwendungen üblicherweise benutzten 2,45 GHz, wird es allerdings schwierig, die Mikrowellenleistung gleichmäßig und effektiv in Plasmen einzukoppeln, deren Ausdehnung so groß ist, wie dies eine Laser-Anordnung erfordert.

Aus der DE-OS 37 43 358 ist ein sogenannter "Fast-Flow"-Laser bekannt, der mit einer Frequenz von 2,45 GHz betrieben wird und bei dem das mit hoher Geschwindigkeit den Laser axial durchströmende Gas bereits vor Eintritt in den Laser mit Mikrowel-

- 1 lenleistung gezündet wird. Derartige Laser können eine ver-
gleichsweise hohe Leistung im Kilowattbereich erbringen; zwin-
gend ist aber die hohe Durchströmgeschwindigkeit des Laserga-
ses, um die Verlustleistung des Plasmas aus dem laseraktiven
5 Volumen zu transportieren.

Aus der Fachliteratur (W. Renz "Untersuchungen zur CO₂-Laser-
anregung mit Mikrowellen-Gasentladungen in nichtresonanten
Strukturen", Dissertation (1988), FAU Erlangen-Nürnberg) ist
10 eine Anregungsstruktur für einen Laser bekannt, bei der in
einem Mikrowellenhohlleiter ein Keramikrohr, dessen Achse in
Ausbreitungsrichtung der Mikrowellenleistung gerichtet ist, das
laseraktive Gas enthält. Infolge dieser Konstruktion wird die
Mikrowellenleistung durch das Plasma im Keramikrohr gedämpft,
15 so daß die Leistungseinkopplung ins Plasma hinsichtlich der
Rohrlängsachse ungleichmäßig erfolgt. Folglich konnten auch nur
sogenannte "Laufentladungen" in einem gepulsten Betrieb erzeugt
werden, bei denen das Plasmavolumen nur zum Teil ausgenutzt
wurde.

20 Weiterhin sind sogenannte Bandleiter-Laser bekannt, bei denen
sich das laseraktive Gas zwischen gegenüberliegenden Flächen
zweier Wandteile befindet, die gleichermaßen als Elektroden zur
Einkopplung der Energie ausgebildet sind. Bei der DE-OS
25 37 29 053 wird in einen solchen Bandleiter-Laser ein hochfre-
quentes elektrisches Wechselfeld eingekoppelt. Zur gleichmäßi-
gen Aktivierung über die gesamte Länge ist dabei vorteilhafter-
weise eine Einkopplung der HF-Leistung an mehreren Stellen vor-
gesehen.

30 Schließlich ist aus der EP-A-0 275 023 ein derartiger Bandlei-
ter-Laser bekannt, bei dem die Anregung mit HF-Leistung im Ra-
diofrequenzbereich erfolgen soll, welche dem oberen Wandteil
des in einem Behälter angeordneten Lasers über Leitungen zuge-
35

- 1 führt wird. Die Frequenz ist hier nach oben begrenzt, da sich
ansonsten stehende Wellen mit entsprechenden Ungleichmäßigkei-
ten des Plasmas ausbilden.
- 5 Es ist wünschenswert, bei gegebenem Entladungsvolumen eines
Bandleiter-Lasers die Laser-Ausgangsleistung durch entsprechende
Erhöhung der eingekoppelten elektrischen Leistung zu erhöhen.
Bei konstanter Temperatur des Plasmagases ist dies dann mög-
lich, wenn der Abstand der plasmabegrenzenden Flächen des Band-
10 leiter-Lasers verringert wird, da hierdurch die Diffusionsküh-
lung verbessert wird.

Bei den bisher bekannten Bandleiter-Lasern ist die Verringerung
des Elektrodenabstandes aber dadurch begrenzt, daß die entlang
15 den beiden Flächen der Bandleiter-Elektroden vorhandene laser-
inaktiven Grenzschichten die Dicke der aktiven Plasmaschicht
einschränken. Einen Ausweg bietet die Erhöhung der Betriebsfre-
quenz, beispielsweise bis in den Mikrowellenbereich, da die
Dicke der Grenzschichten mit zunehmender Frequenz abnimmt.

20 Die Verwendung solch hoher Frequenzen für diesen Zweck ist je-
doch dadurch begrenzt, daß sich im Plasmaraum stehende Wellen
der HF-Leistung ausbilden. Um dieses zu vermeiden, fehlen aber
bisher die apparativen Voraussetzungen.

- 25 Aufgabe der Erfindung ist es daher, bei einem Gaslaser nach dem
Bandleiterkonzept die elektrische Leistungseinkopplung so zu
verbessern, daß höhere Frequenzen als bisher zur gleichmäßigen
Anregung verwendet werden können und auch der Elektrodenabstand
verringert werden kann, da die laserinaktiven Grenzschichten
30 mit steigender Frequenz dünner werden. Dadurch kann bei sonst
gleichen Abmessungen die Laserleistung gesteigert werden. Dabei
soll ein Bandleiterabstand von etwa 1/10 mm und weniger er-
reicht werden, so daß auch die Nutzung von optischen Resonator-
konfigurationen für Gaslaser im nahen Infrarotbereich nach dem

- 1 Bandleiterkonzept möglich wird, welche für Gaslaser im fernen Infrarotbereich und für Halbleiterlaser bereits bekannt sind.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Gesamtheit der Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Weiterbildungen ergeben sich durch die einzelnen abhängigen Unteransprüche, wobei diese insbesondere auch die Betriebsweise eines erfindungsgemäß ausgebildeten Lasers angeben.

- 10 Mit der Erfindung ist also eine Anordnung geschaffen, mit der die Anregung eines Gaslasers nach dem Bandleiterkonzept mit Mikrowellen möglich ist. Erstmals wird eine flächige Plasmaschicht durch gleichmäßige Anregung mit Mikrowellen erzeugt, wobei mindestens eine Lineardimension der angeregten Plasmaschicht ein Mehrfaches der Freiraumwellenlänge des anregenden HF- oder Mikrowellen-Generators betragen kann.

- Durch die Erfindung kann der Abstand der Wandteile mit den gegenüberliegenden Flächen im erwünschten Sinne variiert werden.
- 20 Es sind Abstände von unter 30 μm bis über 5 mm möglich. Der Gasdruck kann zwischen 10 mbar und einigen bar liegen.

- Besonders vorteilhaft ist bei der Erfindung, daß durch die Verringerung der Grenzschichten an den Elektrodenoberflächen der Abstand der Elektroden, die gleichzeitig als Bandleiter des Lasers wirken, so gering gehalten werden kann, daß z.B. regelmäßige periodische Erhöhungen und/oder Vertiefungen von beispielsweise $1/4$ der Wellenlänge der Laserstrahlung für die Bildung eines Laser-Resonators wirksam werden können. Anstelle dieser periodischen geometrischen Struktur ist es auch möglich, Strukturen zu benutzen, die einen periodischen Wechsel der Brechzahl für die Wellenlänge des betreffenden Lasers darstellen. Die periodische Struktur bewirkt eine Reflexion der Laserstrahlung. Derartige Laser sind in anderen Realisierungen als
- 30 "Distributed Feed Back Laser" (DFB-Laser) bekannt. Bei solchen
- 35

- 1 Lasern kann auf die Verwendung von Spiegeln verzichtet werden,
was in der Fachliteratur im einzelnen ausgeführt wird
(D. Marcuse, Hollow Dielectric Waveguide for Distributed Feed-
back Lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-8,
5 No. 7, July 1972, Seiten 661 bis 669).

Das Material der Wandoberflächen, die den Wellenleiter bilden,
besitzt vorzugsweise geringe Reflexionsverluste für die Strah-
lung des Lasers, so daß die Dämpfung gering ist. Es sind sowohl
10 metallische Oberflächen als auch Oberflächen aus halbleitenden
Materialien wie dotiertes Silizium oder Germaniumoxid geeignet,
ebenso aber auch nichtleitende Werkstoffe wie Aluminiumoxid
oder Berylliumoxid.

- 15 Die der Erfindung zugrundeliegende Idee besteht darin, daß der
Plasmaraum Bestandteil einer Hohlleiterstruktur - im folgenden
Ankoppelraum oder Ankoppelhohlleiter genannt - ist, dessen Pha-
senwellenlänge bei der Betriebsfrequenz f_0 des Generators in
der Längsrichtung etwa der Länge des Plasmarumes entspricht
20 oder diese Abmessung überschreitet. Die Phasenwellenlänge wird
dabei für die gewählte Betriebsfrequenz durch die Querschnitts-
geometrie des Ankoppelraumes nach den Auslegungsregeln für
Hohlleiterelemente festgelegt. Alternativ ist es auch möglich,
den Querschnitt des Ankoppelraumes so zu dimensionieren, daß
25 die Phasenwellenlänge imaginär wird, daß also ein aperiodisch
gedämpfter Hohlleiter vorliegt. Diesem Ankoppelraum wird die
Leistung nunmehr nicht mehr wie beim Stand der Technik von den
Enden des Lasers oder an wenigen Stellen dazwischen zugeführt,
sondern im wesentlichen von mindestens einer Seite und zwar
30 durch eine Vielzahl von Koppelöffnungen entlang der Längsachse
verteilt. Die Koppelöffnungen stellen die Verbindung zu einem
zweiten Hohlleiterelement her, dem Verteilerhohlleiter, der die
gleiche Längsabmessung hat wie der Koppelhohlleiter. Der Ver-
teilerhohlleiter wird ebenso wie der Ankoppelhohlleiter so aus-
35 gelegt, daß seine Phasenwellenlänge die Längsabmessung des La-

- 1 sers etwa erreicht oder überschreitet. In den Verteilerhohlleiter wird die Mikrowellenleistung mittels bekannter Methoden, beispielsweise aus einem Magnetron über ein Horn, eingespeist.
- 5 Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. Es zeigen
- Figur 1 das Prinzip eines Bandleiter-Lasers,
Figuren 2 bis 4 Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäßen
10 Bandleiter-Lasern in perspektivischer Darstellung,
Figur 5 ein anderes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Bandleiter-Lasers im Schnitt,
Figur 6 ein Ausführungsbeispiel einer Querkontur der gegenüberstehenden Flächen der Wandteile des Plasmariums,
15 Figur 7 eine entsprechende Längskontur und die
Figuren 8 bis 10 spezifische Strukturen auf einer oder beiden gegenüberstehenden Flächen der Wandteile.

Identische oder gleichwirkende Teile sind in den Figuren durchweg mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die Figuren werden teilweise zusammen beschrieben.

20

In Figur 1 umschließen zwei plattenförmige Wandteile 1 und 2 mit zugehörigen Endteilen 3, 4 und 6 einen Plasmaraum 5, der das Prinzip des Bandleiter-Gaslasers kennzeichnet. Die Wandteile 1 und 2 bilden Elektroden für die Zuführung von HF-Leistung eines Generators 9.

25

Als Bandleiter-Gaslaser bezeichnet man solche Laseranordnungen, bei denen das laseraktive Plasma zwischen zwei Wandflächen angeregt ist, die sich beispielsweise als ebene Flächen im engen Abstand gegenüberstehen und bei denen diese Flächen für die im Plasma erzeugte Laserstrahlung so gute Reflexionseigenschaften aufweisen, daß sie die Strahlführung bestimmen. In den Endteilen 3 und 4 können jeweils Spiegel angeordnet sein, wobei wei-

30
35

- 1 terhin optische Mittel 6 und 7 zur Auskopplung und Fokussierung
der Laserstrahlung vorhanden sind.

Die Anregung des Plasmas erfolgt üblicherweise unter Zuhilfenahme eines elektrischen Hochfrequenzfeldes, dessen Feldstärke zumeist senkrecht zu diesen Flächen gerichtet ist. Zur Abführung der thermischen Verlustleistung werden die Platten durch eine ausreichend dimensionierte Wasser- oder Luftkühlung auf konstante Temperatur gehalten. Die maximal auftretende Temperaturdifferenz zwischen der heißesten Stelle im Plasma, beispielsweise der Mittelebene, und der Wand ist weitgehend durch die Verlustleistung im Plasma und den Plattenabstand bestimmt. Ist die maximal zulässige Gastemperatur durch den Laserprozeß im Anregungsplasma wie beispielsweise beim CO_2 - und CO-Laser festgelegt, so kann die Anregungsleistung und demzufolge die Laserausgangsleistung um so größer gemacht werden, je kleiner der Abstand der Bandleiter ist.

Die höchste zulässige Temperaturdifferenz zwischen der heißesten Stelle im Plasma und den Wandflächen ergibt sich daraus, daß im Plasma an den Stellen, an denen eine bestimmte Grenztemperatur überschritten wird, die Erzeugung von Laserphotonen schnell abnimmt und daß die Temperatur der Wandflächen durch die Anordnung der Kühleinrichtung und die abzuführende Wärmeleistung vorgegeben ist.

Beim bisherigen Stand der Technik ist die Grenze für die Verringerung des Plattenabstandes und damit auch für die Steigerung der Laserleistung dadurch bestimmt, daß sich entlang den Flächen stets eine Grenzschicht bildet, die zur Erzeugung der Laserstrahlung nur wenig oder nichts beiträgt. So ist z.B. bei einer Anregungsfrequenz von 100 MHz und einem Plattenabstand von 1,5 mm etwa ein Drittel des Plasmavolumens durch die beiden Grenzschichten an den Elektroden für die Laseranregung verloren. Es ist jedoch bekannt, daß die Dicke der Grenzschicht etwa

1 umgekehrt proportional zur Frequenz der Anregungsleistung ab-
nimmt. Der relative Anteil des nutzbaren Plasmavolumens steigt
also bei höheren Anregungsfrequenzen, und weiterhin kann dann
auch der Plattenabstand zur Verbesserung der Kühlung verringert
5 werden. Die Laserleistung kann daher gesteigert werden, wenn
man zu höheren Frequenzen übergeht. Bisher konnte diese an sich
bekannte Erkenntnis jedoch nicht ausgenutzt werden, weil sich
bei den bekannten Einrichtungen über die Flächen eine Feld- und
Leistungsverteilung ergibt, die um so ungleichmäßiger ist, je
10 kleiner die Wellenlänge der Anregungsleistung etwa im Vergleich
zum 10fachen der größten Längenabmessung ist.

In Figur 2 sind zwei Wandteile 10 und 20 derart ausgebildet,
daß sie zusammen im Querschnitt einem Rechteck- oder Steghohl-
15 leiter ähnlich sind. Die inneren Wandflächen 11 und 21 liegen
einander gegenüber und schließen einen Plasmaraum ein. An der
einen Seite ist diese Struktur über einen Steg 27 abgeschlos-
sen, an der anderen Seite befindet sich eine sogenannte Koppel-
wand 30. Über die Koppelwand 30 sind die Wandteile 10 und 20
20 mit einer hohlleiterähnlichen Struktur 40 verbunden, in die
seinerseits über einen Koaxialanschluß oder speziell ein Horn
45 HF-Leistung im Mikrowellenbereich einkoppelbar ist.

Die Struktur 40 verläuft über die gesamte Länge der Platten 10
25 und 20, während die Einkoppelstelle 45 sich in der Mitte
(Schnittebene) befindet. Es ist somit ein Verteilerraum 40 für
Mikrowellen geschaffen, die über die Koppelwand 30 in die
Struktur aus den Wandteilen 10 und 20 eingekoppelt werden.
Diese Struktur bildet damit einen Ankoppelraum für die Mikro-
30 wellen, über den die HF-Leistung in das zwischen den Flächen
11 und 21 befindliche Plasma übertragen wird.

Die Koppelwand 30 weist Koppelöffnungen 31 und 32 auf, die über
die gesamte Längsrichtung verteilt sind. Als Koppelöffnungen
35 sind beispielsweise Schlitz-, runde oder rechteckige Löcher

- 1 oder auch deren Kombination möglich. Es können beispielsweise
zwei Reihen von Schlitzten 31 und 32 gebildet werden, die über
ihre Länge jeweils auf Lücke stehen. Alternativ dazu können die
Schlitze auch zickzackförmig ausgebildet sein oder in Kombina-
5 tion mit runden Löchern hantelförmige Strukturen bilden. Statt
der Koppelöffnungen sind ebenfalls auch Koppelstege oder Kop-
pelschleifen in der Koppelwand möglich.

- Bei der Ausführungsform gemäß Figur 2 wird also die HF-Leistung
10 gleichmäßig über die gesamte Länge des Bandleiter-Lasers von
einer der beiden Seiten eingekoppelt. Der Steg 27 bildet eine
Reflexionswand. Insgesamt läßt sich bei der steghohlleiterähn-
lichen Struktur über den Querschnitt eine Feldstärkeverteilung
erreichen, die im Bereich des Plasmarumes einer Sinusform
15 ähnlich ist und auf einer Seite abfällt.

- In Figur 3 wird einem Bandleiter-Laser mit den Wandteilen 10
und 20 und dem von den Flächen 11 und 21 umschlossenen Laser-
volumen die HF-Leistung gleichzeitig von zwei gegenüberlie-
20 genden Seiten zugeführt. Dafür sind spiegelbildlich zwei Ver-
teilerräume 40 bzw. 40' mit je einem Horn 45 bzw. 45' angeord-
net, die über je eine Koppelwand 30 bzw. 30' die HF-Leistung in
den entsprechend Figur 2 ausgebildeten Ankoppelraum einkoppeln.

- 25 Davon abweichend ist es gemäß Figur 4 auch möglich, zwei Ver-
teilerräume 40 und 40'' an einer Seite des Ankoppelraumes 10,
20 nebeneinander anzuordnen. Der erste Ankoppelraum 40 hat in
bekannter Weise das Horn 45 zum Anschluß des HF-Generators und
eine Koppelwand 30' mit versetzten Koppelöffnungen 33. Über
30 diese Koppelöffnungen 33, die auch eine Struktur wie in Figur 2
haben können, wird die HF-Leistung in den zweiten Verteiler-
raum 40'' übertragen. Ganz entsprechend wird von dort über eine
zweite Koppelwand 30'' mit Koppelöffnungen 34 die HF-Leistung
in den eigentlichen Bandleiter-Laser eingekoppelt.

- 1 Durch die beiden nebeneinanderliegenden Verteilerräume 40 bzw.
40'' kann eine weitere Vergleichmäßigung der Leistung über die
Längsausdehnung des Lasers erreicht werden, wozu insbesondere
die unterschiedlich ausgebildeten Koppelöffnungen 33 und 34
5 beitragen. Es ist auch möglich, die Hohlleiterstrukturen durch
ggfs. verfahrbare Stege 41 bzw. 42 zu beeinflussen, um zusätz-
liche Variationsmöglichkeiten zu realisieren.

In Figur 5 bedeuten 10 und 20 die Wandteile mit ihren gegen-
10 Überstehenden Flächen 11 und 21 entsprechend Figur 2. In den
Wandteilen 10 und 20 sind jeweils Einschnitte 13 und 23 für
eine Wasserkühlung vorhanden, die rückseitig durch Begrenzungs-
wände 14 und 24 abgeschlossen sind. Dem so gebildeten Ankoppel-
raum ist wiederum ein Verteilerraum 40 zugeordnet, der sich bei
15 dieser Ausführungsform aber unter dem von den Wandteilen 10 und
20 gebildeten Ankoppelraum befindet und sich diesem in Form
eines Rechteckhohlleiters 40 anschließt. An die Grundfläche des
Hohlleiters 40 ist ein Magnetron 46 unmittelbar angeordnet. In
diesem Fall erfolgt die Übertragung der HF-Leistung über Aus-
20 sparungen 51 und 52 an den Endbereichen der Begrenzungswand 14,
denen sich beidseitig dielektrisch wirksame Teile 28 und 29 an-
schließen. Die Teile 28 bzw. 29 haben also in der Verbindung
mit den Aussparungen 51 bzw. 52 die Wirkung der Koppelwände 30
bzw. 30' der Fig. 3. Somit ist die beidseitige Einkopplung
25 eines magnetischen Feldes vom einzigen Verteilerraum 40 in den
Ankoppelraum möglich, wobei sich im Bereich des Bandleiters
durch Überlagerung zweier Halbwellen eine weitgehend konstante
Feldstärke ohne Abfall ergibt.

- 30 Durch den vorgegebenen Feldstärkeverlauf über den Querschnitt
des Ankoppelraumes gemäß einer der Figuren 2 bis Figur 5 läßt
sich zwischen den Flächen 11 und 21 das laseraktive Gasplasma
gleichmäßig aufrechterhalten. Der Plattenabstand kann auf bei-
spielsweise 30 μm verringert werden, ohne daß die Grenzschich-
35 ten störend wirken. Der Gasdruck kann je nach Anforderungen

- 1 zwischen 10 mbar und einigen bar liegen. Als Lasergas ist beispielsweise ein Gasgemisch $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ im Verhältnis 20:20:60 vorgesehen.
- 5 Bei einer konkreten Realisierung des Steghohlleiters bestehen die Wandteile 10 und 20 aus einem metallisch leitfähigem Material. In jedem Fall muß das Material dielektrisch wirksam sein, wobei zur Gewährleistung der infrarotoptischen Qualität vor-
- 10 teilhafterweise die Wandflächen 11 und 21 metallisch oder mit einem geeigneten Material beschichtet sein können, beispielsweise mit dotiertem Silizium oder Germaniumoxid. Vorteilhaft sind regelmäßige, periodische Bragg-Strukturen auf den Oberflächen 11 und 21 der Wandteile 10 und 20. Es läßt sich somit bei dem realisierten Bandleiterlaser eine hohe Frequenzselek-
- 15 tion erreichen, wobei auf Spiegel verzichtet werden kann.

- Figur 4 zeigt eine Anordnung des Ankoppelraumes gemäß Figur 2, bei der die beiden Wandteile 10 und 20 mit ihren gegenüberliegenden Flächen eine Kontur 12 bzw. 22 in Querrichtung haben.
- 20 Diese Kontur kann beispielsweise jeweils einen Kreisausschnitt bilden. Ganz entsprechend ist in Figur 5 ein zu Figur 4 senkrechter Schnitt dargestellt, bei dem die Wandteile 10 und 20 mit ihren gegenüberliegenden Flächen eine Längskontur 12' bzw. 22' bilden, welche ebenfalls eine vorbestimmte Funktion auf-
- 25 weisen kann.

- In Figur 6 sind auf den Flächen 11 oder 21 der Wandteile 10 oder 20 senkrecht zur Längsrichtung der Wandteile periodische Strukturen 61 aufgebracht. Diese Strukturen bilden Vorsprünge
- 30 oder Einsenkungen und beeinflussen das Laserlicht. Die Strukturen 61 können speziell gemäß Figur 7 Kreissegmente 71 sein oder andere vorbestimmte Formen haben. Es können aber auch in Axialrichtung der Wandteile 10 oder 20 verlaufende Längsstrukturen 81 gemäß Figur 8 vorhanden sein.

- 1 Art und Geometrie der Strukturen lassen sich aus den
Bragg'schen Gleichungen ableiten und für die spezifischen La-
serwellenlängen bestimmen. Es können damit Reflexionen bzw. ge-
eignete Strahlführungen erreicht werden. Insbesondere lassen
5 sich die Strukturen gemäß den Figuren 8 oder 9 mit der Struk-
tur gemäß Figur 10 in der Weise kombinieren, daß im mittleren
Bereich der Wandteile 10 und 20 Längsstrukturen und im äußeren
Bereich jeweils Querstrukturen zumindest auf einer der Oberflä-
chen vorhanden sind. Diese Strukturen können gleichzeitig auch
10 bei entsprechend den Figuren 6 und 7 ausgebildeten Quer- bzw.
Längskonturen der einander gegenüberliegenden Flächen 11 und 21
der Wandteile 10 und 20 kombiniert werden.

- In die Laser-Anordnungen gemäß den Figuren 2 bis 5 mit even-
15 tuellen Modifizierungen gemäß den Figuren 6 bis 10 kann HF-Lei-
stung im Gigahertzbereich eingespeist werden, da hohlleiterähn-
liche Strukturen für Mikrowellen gebildet sind. Die HF-Leistung
wird beispielsweise mittels Koppelstift oder einer Koppel-
schleife eines bekannten Koaxialleitungsüberganges oder direkt
20 mit einem Koppelstift eines Magnetrons, beispielsweise für
2,45 GHz, das etwa in der Mitte der Längsausdehnung des mit dem
Koppelraum verbundenen Verteilerraumes angeschlossen ist,
eingespeist. Es ergibt sich somit entlang des Plasmariums ein
weitgehend konstanter Feldverlauf.

- 25 Laseranordnungen, bei denen nicht laufend neues Gas in das
Plasma geführt wird, sind üblicherweise mit einem Gasvorrat
versehen, dessen Volumen beispielsweise das 100fache des zum
Plasmazustand angeregten Gasvolumens beträgt.

- 30 Als Vorratsraum kann hier vorteilhaft der Ankoppelraum außer-
halb der einander gegenüberstehenden Flächen 11 und 21 und der
Verteilerraum 40 verwendet werden, die vakuumdicht abzu-
schließen sind. Zusätzliche Behältnisse sind dann überflüssig.
35 An den Koppelwänden 30 bzw. 30' oder 30'', die sich im Lasergas

- 1 befinden, muß die auftretende elektrische Feldstärke ausrei-
chend weit unter der Zündfeldstärke des Lasergases liegen. Dies
läßt sich stets bewerkstelligen. Besonders vorteilhaft sind
hier Koppelmittel verwendbar, die aus der Koppelwand heraus-
5 treten, z.B. Stege und/oder Schleifen.

Bei Molekül-Gaslasern ist damit zu rechnen, daß im Plasma ein
Anteil des Gases zersetzt wird und andere Verbindungen eingeht.
Zur Regeneration sind Einrichtungen, beispielsweise Katalysa-
10 toren unterschiedlicher Ausführung und Zusammensetzung, be-
kannt, für die im Ankoppelraum selbst oder im Verteilerraum
ausreichend viel Platz vorhanden ist.

- Soweit diese Einrichtungen zur Erfüllung ihrer Funktion eine
15 bestimmte Temperatur benötigen, können sie in der Anordnung
durch einen geringen Anteil der HF-Leistung erwärmt oder zur
natürlichen Konvektion des im Plasma erhitzten, hochsteigenden
Gases erwärmt werden. Zu diesem Zweck ist es vorteilhaft, die
Flächen 11 und 21 der Wandteile 10 und 20 im Betrieb möglichst
20 senkrecht zu stellen und die Einrichtung darüber im Konvek-
tionsstrom anzuordnen.

- Eine gewisse Schwierigkeit, die viele flächenhafte Entladungs-
strecken mit geringem Elektrodenabstand betrifft, liegt darin,
25 daß die Zündfeldstärke wesentlich höher liegt als die Brenn-
feldstärke. Es kann daher auch hier erforderlich sein, zur
Zündung des Laser-Plasmas Hilfseinrichtungen vorzusehen.

- Eine solche Hilfseinrichtung kann beispielsweise in einer
30 Funkenstrecke bestehen, die in der Nähe der beiden gegenüber-
stehenden Flächen 11 und 21 angeordnet ist und über eine
vakuumdichte, isolierte elektrische Verbindung vom Außenraum
her gezündet werden kann.

- 35 Alternativ läßt sich für den gleichen Zweck aber auch vorteil-

1 haft die Ultraviolettstrahlung beispielsweise eines zu einem
Plasma angeregten Gases verwenden, welches aufgrund seines
Druckes und seiner Zusammensetzung mit geringer elektrischer
Feldstärke zündet und sich in einem vakuumdicht abgeschlosse-
5 nen, für Ultraviolettstrahlung durchsichtigen Rohr, beispiels-
weise aus Quarzglas, befindet. Aufgrund dieser Anordnung kann

es in den Raum zwischen den beiden einander gegenüberstehenden
Flächen 11 und 21 der Wandteile 10 und 20 hineinstrahlen, wenn
10 es durch HF-Leistung, insbesondere Mikrowellenleistung, ange-
regt wird. Der Leistungsbedarf dieser UV-Quelle kann dabei ge-
ring gehalten werden, insbesondere dann, wenn nach Zünden des
Laser-Plasmas die elektrische Feldstärke in diesem Rohr unter
die Brennfeldstärke absinkt.

15

Eine andere Möglichkeit, die Zündung zu verbessern, besteht
darin, die Mikrowellenleistung in Form von Mikrowellenpulsen
dem Plasmaraum zuzuführen in der Art, daß die Feldstärke zu
Beginn jedes Pulses so hoch ist, daß die Plasmazündung sicher
20 erfolgt und die Feldstärke im restlichen Verlauf des Pulses
gerade ausreicht, das Plasma stabil brennen zu lassen.

Insgesamt ergibt sich so ein Bandleiter-Laser mit erhöhter
Leistungsausbeute, dessen Anregungsleistung vergleichsweise
25 einfach und preiswert erzeugt und zugeführt wird und der trotz-
dem so kompakt ausgebildet ist, daß er von einem Roboter oder
anderen Geräten in der automatisierten Fertigung handhabbar
ist.

30

35

1 Patentansprüche

1. Gas-Laser, insbesondere CO₂-Laser, bei dem das Lasergas durch Zufuhr von Hochfrequenz-Leistung angeregt wird, mit folgenden Merkmalen:
- Der Laser ist ein Bandleiter-Laser, bei welchem zwischen einander gegenüberstehenden Flächen (11, 21) zweier Wandteile (10, 20) ein Plasmaraum (5) geringer Höhe für das laseraktive Plasma gebildet ist,
 - 10 - die Wandteile (10, 20) sind Bestandteile eines Ankoppelraumes mit wenigstens einer Koppelwand (30, 30', 30''), die mit wenigstens einem Verteilerraum (40, 40', 40'') verbunden ist, wobei
 - durch Einkopplung der HF-Leistung über die Koppelwand (30, 15 30', 30'') das Plasma über seine gesamte Länge in gewünschter Weise angeregt wird.
2. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t, daß der Querschnitt des Ankoppelraumes (10, 20) dem Querschnitt eines Rechteck- oder Steghohlleiters ähnlich ist.
3. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t, daß die gegenüberstehenden Flächen (11, 21) 25 der Wandteile (10, 20) eine vorgegebene Kontur und/oder Struktur haben.
4. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t, daß der Verteilerraum (40, 40', 40'') die 30 Form eines Hohlleiters hat.
5. Gas-Laser nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n - z e i c h n e t, daß an den Verteilerraum (40, 40', 40'') ein HF-Generator (46) angeschlossen ist.

- 1 6. Gas-Laser nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t, daß der Verteilerraum (40, 40', 40'') seit-
lich neben dem Ankoppelraum (10, 20) angeordnet ist.
- 5 7. Gas-Laser nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t, daß der Verteilerraum (40) unterhalb des An-
koppelraums (10, 20) angeordnet ist.
8. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
10 z e i c h n e t, daß innerhalb des Verteilerraums (40, 40',
40'') Längsstege (41, 42) zur Erzwingung geeigneter Phasen-
wellenlängen vorhanden sind.
9. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
15 z e i c h n e t, daß die Koppelwand (30, 30', 30'') entlang
ihrer Längsachse für Mikrowellen angepaßte Koppelöffnungen (31
bis 34), beispielsweise Schlitzte, runde oder rechteckige Löcher
oder deren Kombination, aufweist.
- 20 10. Gas-Laser nach Anspruch 9, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t, daß zwei oder mehr Reihen von parallel lie-
genden Schlitzten (34) vorhanden sind.
11. Gas-Laser nach Anspruch 9, d a d u r c h g e k e n n -
25 z e i c h n e t, daß die Schlitzte (34) und/oder die Löcher
(31) in vorgegebener Konfiguration über die gesamte Länge der
Koppelwand (30, 30', 30''), beispielsweise zickzack-förmig oder
hantelförmig, verlaufen.
- 30 12. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t, daß die Koppelwand (30) entlang ihrer Längs-
achse Koppelstege oder -schleifen aufweist.
13. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
35 z e i c h n e t, daß zwei Koppelwände (30, 30', 30'') an

- 1 gleichen oder unterschiedlichen Seiten des Ankoppelraumes (10,
20) vorhanden sind.
14. Gas-Laser nach Anspruch 13, d a d u r c h g e -
5 k e n n z e i c h n e t, daß über die beiden Koppelwände
(30, 30') die HF-Leistung aus einem einzigen Verteilerraum (40)
gleichphasig von gegenüberliegenden Seiten in den Ankoppelraum
(10, 20) eingekoppelt wird.
- 10 15. Gas-Laser nach Anspruch 13, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß über die beiden Koppelwände
(30, 30', 30'') HF-Leistung aus zwei Verteilerräumen (40, 40',
40'') in den Ankoppelraum (10, 20) eingekoppelt wird.
- 15 16. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß der Abstand zwischen den gegen-
überliegenden Flächen (11, 21) der Wandteile (10, 20) wenig-
stens 20 µm und höchstens 5 mm beträgt.
- 20 17. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die beiden das Plasma mit ihren
gegenüberstehenden Flächen (11, 21) einschließenden Wandteile
(10, 20) rückseitig eine durchgehende Wasserkühlung oder Luft-
kühlung (13, 14; 23, 24) haben.
- 25 18. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die beiden das Plasma ein-
schließenden Flächen (11, 21) der Wandteile (10, 20) seitlich
durch senkrechte Stege (28, 29) aus isolierendem Material
30 zumindest teilweise abgeschlossen sind.
19. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß der Ankoppelraum (10, 20) und/
oder der Verteilerraum (40) oder Teile davon durch nichtlei-
35 tende Elemente vakuumdicht abgeschlossen sind und somit einen
Vorratsraum für das Lasergas geschaffen wird.

- 1 20. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die Wandteile (10, 20) aus
einem dielektrisch wirksamen Material bestehen und daß zumin-
dest deren gegenüberliegenden Flächen (11, 21) eine hohe opti-
5 sche Güte aufweisen.
21. Gas-Laser nach Anspruch 20, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die gegenüberliegenden Flächen
(11, 21) der Wandteile (10, 20) mit optisch wirksamen Struktu-
10 ren (61, 71, 81) versehen sind, die durch ihre räumliche Aus-
dehnung und/oder durch wechselnde Anordnung von Materialien
unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisen und die durch
verteilte Reflexion, Beugung und Brechung der Strahlführung die
Ausnutzung des laseraktiven Plasmas und die Strahlqualität bzw.
15 Auswahl der optischen Mode verbessern.
22. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß die gegenüberliegenden Flächen
(11, 21) der Wandteile (10, 20) beschichtet sind, beispielswei-
20 se mit dotiertem Silizium oder GeO_2 .
23. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß das Lasergas ein Gemisch aus
 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$, beispielsweise im Verhältnis 10:20:60 ist.
25
24. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t, daß der Druck des Lasergases zwi-
schen 10 mbar und 5 bar beträgt.
- 30 25. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t, daß die HF-Leistung zur Anregung des Laser-
gases im GHz-Bereich, vorzugsweise bei 2,45 GHz, liegt.
26. Gas-Laser nach Anspruch 25, d a d u r c h g e k e n n -
35 z e i c h n e t, daß die HF-Leistung durch ein mit dem An-

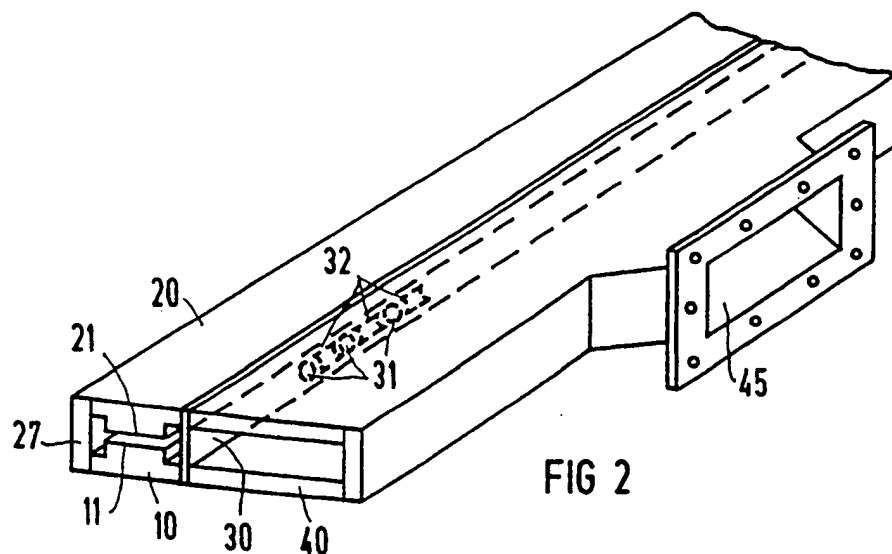
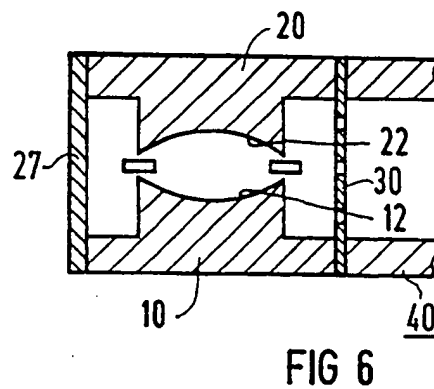
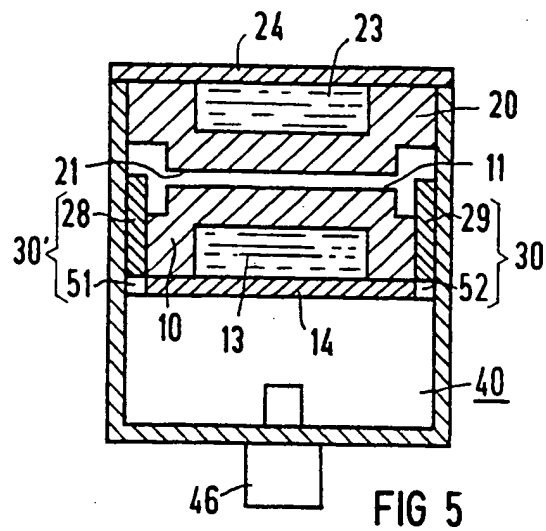
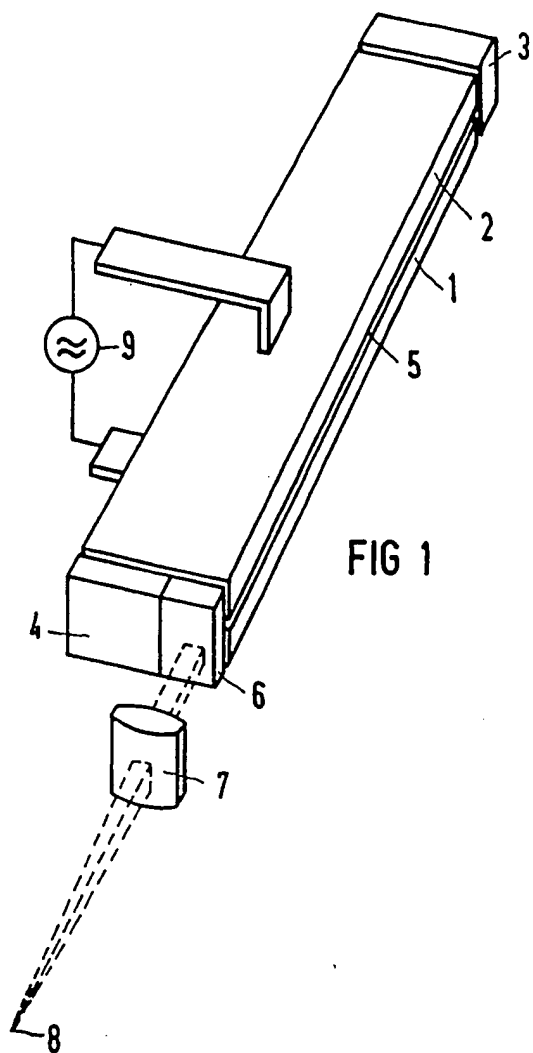
- 1 koppelraum verbundenes Magnetron erzeugt wird.
27. Gas-Laser nach Anspruch 25 oder 26, d a d u r c h g e -
k e n n z e i c h n e t , daß die Einkopplung der HF-Leistung
5 durch ein vakuumdichtes Fenster erfolgt.
28. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß im gesamten vom Lasergas eingenommenen
Volumen außerhalb des Bereichs der einander gegenüberstehenden
10 Flächen (11, 21) der Wandteile (10, 20) und außerhalb des Be-
reiches von Einrichtungen, die für die Zündung des Plasmas
zwischen den Flächen (11, 21) vorgesehen sind, die elektrische
Feldstärke stets unter der zwischen den Flächen (11, 21) herr-
schenden Feldstärke bleibt.
- 15 29. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß Koppelwände (30, 30') Verwendung
finden, an denen eine so hohe magnetische und eine so geringe
elektrische Feldstärke herrscht, daß letztere nicht zur Zün-
20 dung des Plasmas führt.
30. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß sich im vom Lasergas eingenommenen
Volumen Einrichtungen befinden, die eine Regeneration des La-
25 sergases zumindest teilweise bewirken.
31. Gas-Laser nach Anspruch 30, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die Regeneration durch Absorption von
HF-Leistung zustandekommt oder unterstützt wird.
- 30 32. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die einander gegenüberstehenden Flächen
(11, 21) der Wandteile (10, 20) im Laserbetrieb waagrecht ste-
hen.
- 35

- 1 33. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die einander gegenüberstehenden Flächen
(11, 21) der Wandteile (10, 20) im Laserbetrieb senkrecht ste-
hen, um einen konvektiven Austausch des Gases aus dem Plasma
5 mit dem übrigen Lasergas und ein Ausströmen eines gegebenen-
enfalls vorhandenen Katalysators zu fördern.
34. Gas-Laser nach Anspruch 30, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß in der Nähe der sich gegenüberstehen-
10 den Flächen (11, 21) der Wandteile (10, 20) Einrichtungen vor-
handen sind, mittels denen die erforderliche Zündfeldstärke für
das zwischen den Flächen (11, 21) befindliche Lasergas herabge-
setzt werden kann.
- 15 35. Gas-Laser nach Anspruch 32, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die Einrichtung zur Herabsetzung der
Zündspannung aus einem separaten, im ultravioletten Spektralbe-
reich durchsichtigen Behältnis besteht, das ein vakuumdicht
abgeschlossenes Gasvolumen enthält, und daß dieses Gasvolumen
20 durch einen Teil der eingespeisten HF-Leistung zur Abgabe
ultravioletter Strahlung angeregt wird.
36. Gas-Laser nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die HF-Leistung gepulst zugeführt wird.
25
37. Gas-Laser nach Anspruch 36, d a d u r c h g e k e n n -
z e i c h n e t , daß die HF-Leistung zu Beginn jedes Pulses
höher ist als im weiteren Pulsverlauf.

30

35

1/3



2/3

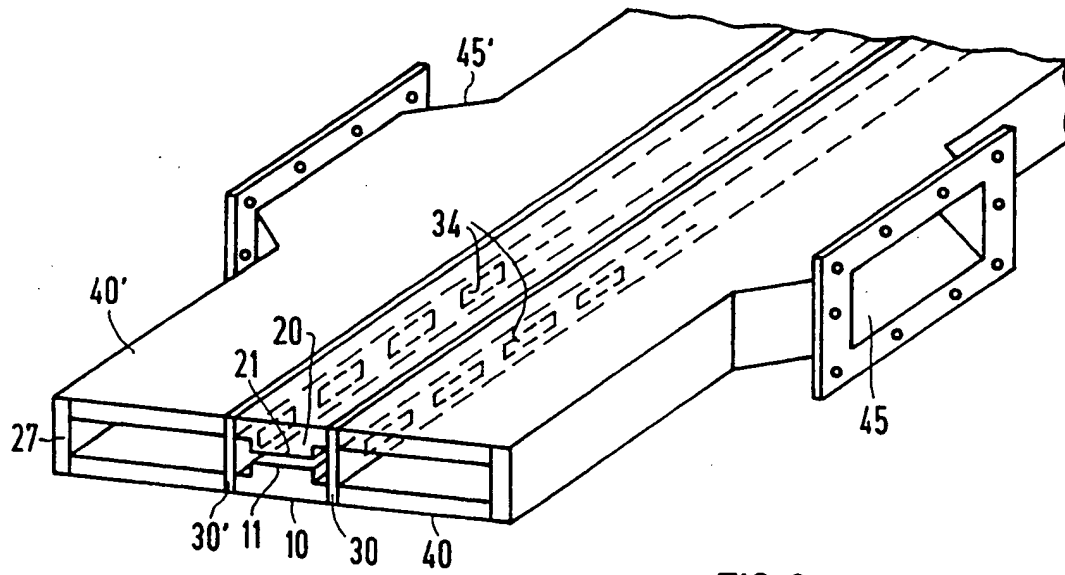


FIG 3

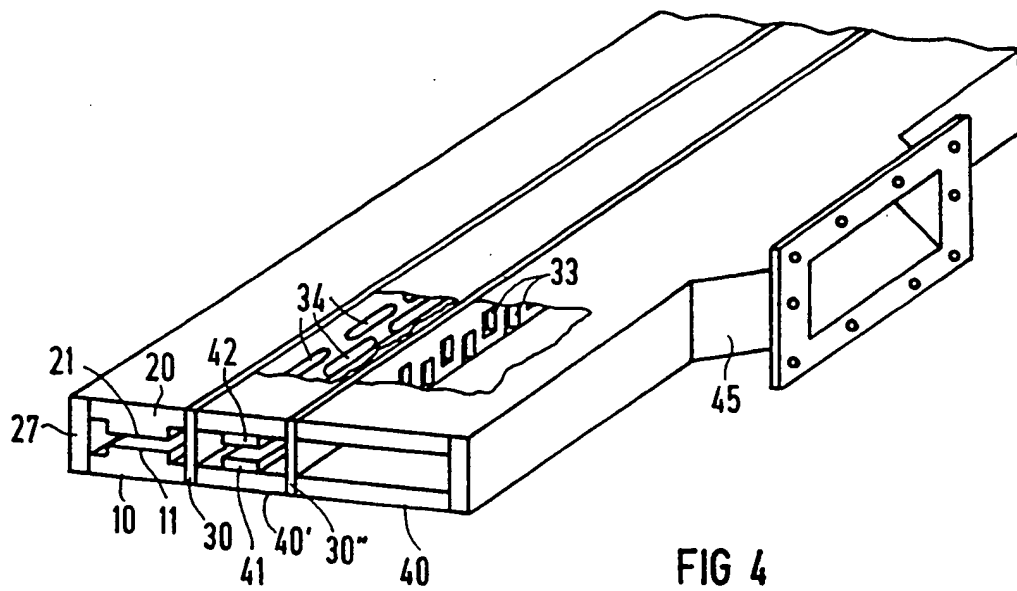


FIG 4

3/3

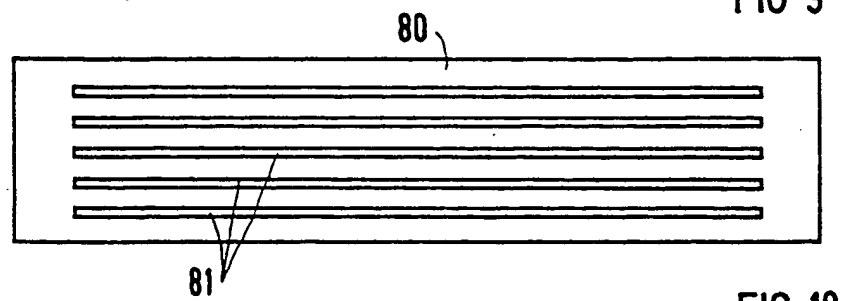
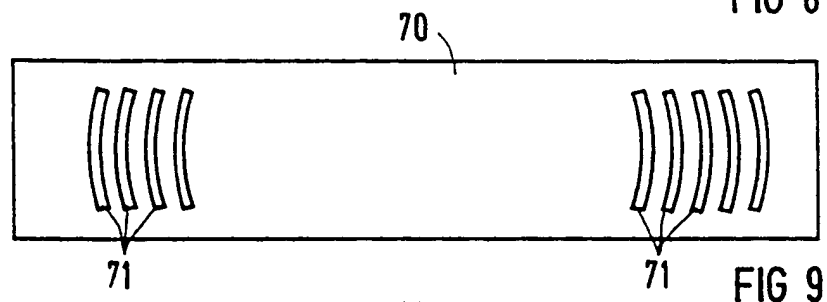
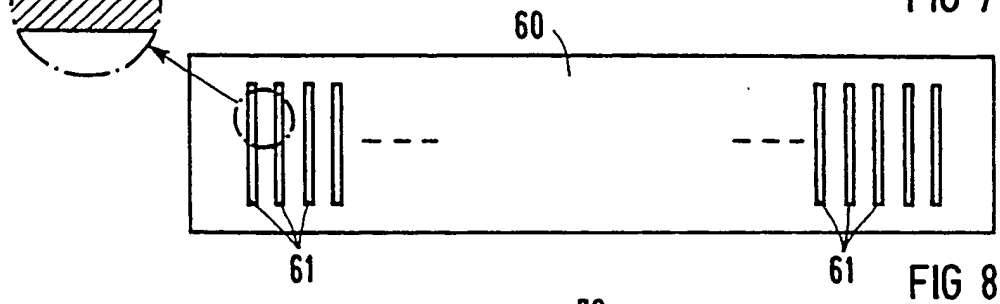
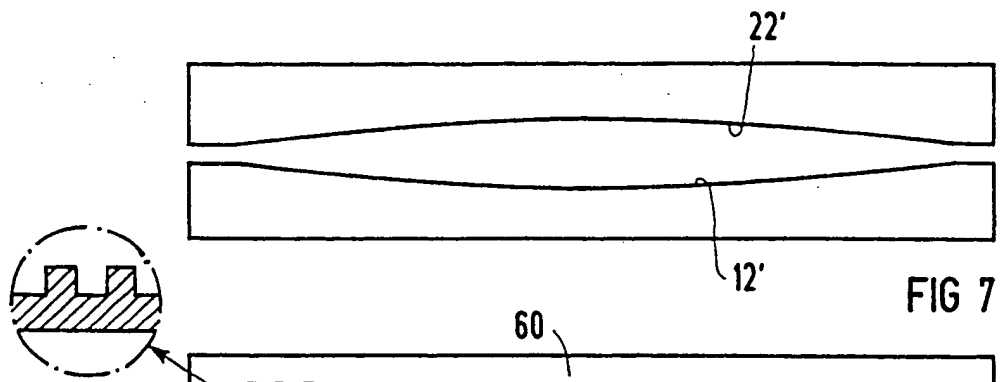


FIG 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/EP 90/00563

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) * According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC Int.Cl. ⁵ : H 01 S 3/0975		
II. FIELDS SEARCHED		
Minimum Documentation Searched †		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. ⁵ :	H 01 S	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ‡		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT*		
Category *	Citation of Document, †† with Indication, where appropriate, of the relevant passages †‡	Relevant to Claim No. ‡‡
X	EP, A, 0280044 (MITSUBISHI) 31 August 1988 see figures 6, 7, 19, 20, 22, 24, 26, 27, 33, 34, 36-41; page 5, line 3 - page 6, line 11; page 7, line 3 - page 8, line 5; page 9, lines 15-22; page 9, line 27 - page 10, line 23; page 11, lines 34-47; page 12, line 2 - page 17, line 17	1-6, 9, 17, 19, 24-26, 32, 36
A	--	8, 12, 20, 23, 27, 28, 30
A	US, A, 4513424 (WAYNANT et al.) 23 April 1985 see the abstract; figures 1-6	1, 9-11

* Special categories of cited documents: † "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Δ" document member of the same patent family		
IV. CERTIFICATION		
Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report	
18 July 1990 (18.07.90)	24 August 1990 (24.08.90)	
International Searching Authority	Signature of Authorized Officer	
European Patent Office		